

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2003 年 9 月 18 日 (18.09.2003)

PCT

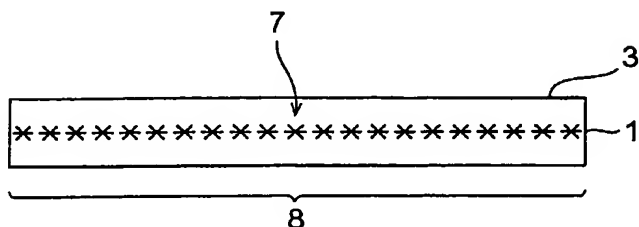
(10) 国際公開番号  
WO 03/076120 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: B23K 26/38, B28D 5/00, H01L 21/301  
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/02945  
(22) 国際出願日: 2003 年 3 月 12 日 (12.03.2003)  
(25) 国際出願の言語: 日本語  
(26) 国際公開の言語: 日本語  
(30) 優先権データ:  
特願2002-067372 2002 年 3 月 12 日 (12.03.2002) JP  
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.)  
[JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 福世 文嗣 (FUKUYO, Fumitsugu) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 福満 憲志 (FUKUMITSU, Kenshi) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).  
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒104-0061 東京都 中央区 銀座一丁目10番6号 銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).  
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO,

[続葉有]

(54) Title: LASER PROCESSING METHOD

(54) 発明の名称: レーザ加工方法



(57) Abstract: A laser processing method capable of cutting with high precision a work (1) having a variety of laminated structures. A laser beam (L) is applied with a converging point (P) targeted at at least the inside of the substrate of the work (1) consisting of the substrate and a laminated portion provided on the surface (3) of the substrate, thereby forming modified area (7) by multi-photon absorbing at least the inside of the substrate, and then a cutting start point region (8) by the modified area. The work (1) can be cut with high precision by being cut along this cutting start point region (8).

(57) 要約:

種々の積層構造を有する加工対象物 (1) を高精度に切断できるレーザー加工方法を提供する。基板と当該基板の表面 (3) に設けられた積層部とを有する加工対象物 (1) の少なくとも基板の内部に集光点 (P) を合わせてレーザー光 (L) を照射することにより、少なくとも基板の内部に多光子吸収による改質領域 (7) を形成し、当該改質領域によって切断起点領域 (8) を形成する。そして、この切断起点領域 (8) に沿って加工対象物を切断することで、加工対象物 (1) を高精度に切断することができる。



NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,  
ZM, ZW.

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,  
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,  
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明細書

### レーザ加工方法

#### 技術分野

本発明は、基板の表面に積層部が設けられて構成された加工対象物の切断に使用されるレーザ加工方法に関する。

#### 背景技術

近年、半導体デバイス用として $Al_2O_3$ 基板上にGaN等の半導体動作層を結晶成長させたものや、液晶表示装置用としてガラス基板上に他のガラス基板を貼り合わせたもの等、種々の積層構造を有する加工対象物を高精度に切断する技術が求められている。

従来、これらの積層構造を有する加工対象物の切断には、ブレードダイシング法やダイヤモンドスクライブ法が使用されるのが一般的である。

ブレードダイシング法とは、ダイヤモンドブレード等により加工対象物を切削して切断する方法である。一方、ダイヤモンドスクライブ法とは、ダイヤモンドポイントツールにより加工対象物の表面にスクライブラインを設け、このスクライブラインに沿うよう加工対象物の裏面にナイフエッジを押し当てて、加工対象物を割って切断する方法である。

#### 発明の開示

しかしながら、ブレードダイシング法にあつては、例えば、加工対象物が上述した液晶表示装置用のものである場合、ガラス基板と他のガラス基板との間に間隙が設けられているため、この間隙に削り屑や潤滑洗浄水が入り込んでしまうおそれがある。

また、ダイヤモンドスクライブ法にあつては、加工対象物が $Al_2O_3$ 基板等の硬度の高い基板を有している場合や、或いは、加工対象物がガラス基板同士を貼り合わせたものである場合等に、加工対象物の表面だけでなく裏面にもスクライブラインを設けなければならない、この表面と裏面とに設けられたスクライブライ

ンの位置ずれによって切断不良が生じるおそれがある。

そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、上述したような問題を解決し、種々の積層構造を有する加工対象物を高精度に切断することのできるレーザ加工方法を提供することを目的とする。

5       上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工方法は、基板と基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、少なくとも基板の内部に多光子吸収による改質領域を形成し、この改質領域によって、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備える  
10       ことを特徴とする。

      このレーザ加工方法によれば、加工対象物が有する基板の内部に、多光子吸収という現象により形成される改質領域によって、加工対象物を切断すべき所望の切断予定ラインに沿った切断起点領域を形成することができる。しかも、基板の表面に設けられている積層部の厚さや材質等を考慮して、基板の表面から切断起点領域における改質領域までの距離を、レーザ光の集光点を合わせる位置を調節することにより制御することができる。したがって、基板の内部に形成された切断起点領域を起点として、基板の表面に積層部が設けられて構成された加工対象物を比較的小さな力で割って切断することができ、種々の積層構造を有する加工対象物を高精度に切断することが可能となる。

20       ここで、基板の表面に設けられた積層部とは、基板の表面に堆積されたもの、基板の表面に貼り合わされたもの、或いは基板の表面に取り付けられたもの等をいい、基板に対し異種材料であるか同種材料であるかは問わない。そして、基板の表面に設けられた積層部には、基板に密着して設けられるものや、基板と間隙を取って設けられるもの等がある。例としては、基板上に結晶成長により形成された半導体動作層や、ガラス基板上に貼り合わされた他のガラス基板等があり、  
25       積層部は異種材料を複数層形成したものも含む。また、基板の内部とは、積層部

が設けられている基板の表面上をも含む意味である。また、集光点とは、レーザー光が集光した箇所のことである。さらに、切断起点領域とは、加工対象物が切断される際に切断の起点となる領域を意味する。したがって、切断起点領域は、加工対象物において切断が予定される切断予定部である。そして、切断起点領域は、改質領域が連続的に形成されることで形成される場合もあるし、改質領域が断続的に形成されることで形成される場合もある。

また、本発明に係るレーザー加工方法は、基板と基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも基板の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が  $1 \mu\text{s}$  以下の条件でレーザー光を照射し、少なくとも基板の内部にクラック領域を含む改質領域を形成し、この改質領域によって、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物のレーザー光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とする。

この条件でレーザー光が照射されると、基板の内部では多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により基板の内部に熱ひずみが誘起され、基板の内部にクラック領域が形成される。クラック領域は上述した改質領域の一例である。このレーザー加工方法の対象となる基板としては、例えばガラスを含む部材がある。

また、本発明に係るレーザー加工方法は、基板と基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも基板の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が  $1 \mu\text{s}$  以下の条件でレーザー光を照射し、少なくとも基板の内部に熔融処理領域を含む改質領域を形成し、この改質領域によって、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物のレーザー光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とする。

この条件でレーザー光が照射されると、基板の内部は多光子吸収によって局所的

に加熱される。この加熱により基板の内部に熔融処理領域が形成される。熔融処理領域は上述した改質領域の一例である。このレーザ加工方法の対象となる基板としては、例えば半導体材料を含む部材がある。

また、本発明に係るレーザ加工方法は、基板と基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも基板の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が  $1 \text{ ns}$  以下の条件でレーザ光を照射し、少なくとも基板の内部に屈折率が変化した領域である屈折率変化領域を含む改質領域を形成し、この改質領域によって、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とする。

この条件でレーザ光が照射されると、基板の内部では多光子吸収が発生するが、パルス幅が極めて短いために、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せず、基板の内部には、イオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて、屈折率変化領域が形成される。屈折率変化領域は上述した改質領域の一例である。このレーザ加工方法の対象となる基板としては、例えばガラスを含む部材がある。

また、本発明に係るレーザ加工方法は、基板と基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、少なくとも基板の内部に改質領域を形成し、この改質領域によって、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とする。そして、改質領域は、基板の内部においてクラックが発生した領域であるクラック領域、基板の内部において熔融処理した領域である熔融処理領域、及び基板の内部において屈折率を変化した領域である屈折率変化領域のうちの少なくともいずれか1つを含む場合もある。

このレーザ加工方法によれば、上述した本発明に係るレーザ加工方法と同様の

理由により、種々の積層構造を有する加工対象物を高精度に切断することが可能となる。ただし、改質領域の形成は、多光子吸収が原因となる場合もあるし、他が原因となる場合もある。

また、本発明に係るレーザ加工方法は、基板と基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物に対し、基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射すると共に、積層部の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、基板の内部と積層部の内部とにそれぞれ改質領域を形成し、この改質領域によって、加工対象物の切断予定ラインに沿って加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とする。そして、改質領域は、基板の内部においてクラックが発生した領域であるクラック領域、基板の内部において熔融処理した領域である熔融処理領域、及び基板の内部において屈折率が変化した領域である屈折率変化領域のうちの少なくともいずれか1つを含む場合もある。

このレーザ加工方法によれば、基板の内部と共に積層部の内部にも切断予定ラインに沿った切断起点領域を形成するため、加工対象物をより小さな力で割って切断することができ、種々の積層構造を有する加工対象物を高精度に切断することが可能となる。なお、基板の内部への改質領域の形成と積層部の内部への改質領域との形成は、例えば、異なるレーザ光源を用いて同時に行ってもよいし、同じレーザ光源を用いて別々（順不同）に行ってもよい。そして、改質領域の形成は、多光子吸収が原因となる場合もあるし、他が原因となる場合もある。

また、本発明に係るレーザ加工方法は、基板と基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、少なくとも基板の内部に切断予定ラインに沿って改質領域を形成することで、加工対象物を切断することを特徴とする。そして、改質領域は、基板の内部においてクラックが発生した領域であるクラック領域、基板の内部において熔融処理した領域である熔融処理領域、及び基板の内部において屈折率が変化した領

域である屈折率変化領域のうちの少なくともいずれか1つを含む場合もある。

このレーザ加工方法によれば、基板の内部に形成された改質領域を起点として、切断予定ラインに沿った割れが自然に基板及び積層部に成長し切断することができる。このレーザ加工方法は、例えば、基板に比べて積層部が薄い場合等に有効である。ただし、改質領域の形成は、多光子吸収が原因となる場合もあるし、  
5 他が原因となる場合もある。

上述した本発明に係るレーザ加工方法においては、基板の内部に集光点が合わされて照射されるレーザ光は、基板の裏面側から照射されることが好ましい。これによれば、基板の表面に設けられた積層部がレーザ光の遮光性や吸収性を有する場合であっても、加工対象物の基板の内部に改質領域によって切断起点領域を形成することができる。  
10

また、上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工方法は、基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、基板の内部に多光子吸収による改質領域を形成し、この改質領域によって、基板の切断予定ラインに沿って基板のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程と、切断起点領域を形成する工程後、基板の表面に積層部を設ける工程とを備えることを特徴とする。  
15

このレーザ加工方法によれば、基板の表面に積層部を設ける前に、基板の内部に切断起点領域を形成するが、多光子吸収による改質領域の形成は局所的なものであって、基板の表面ではレーザ光がほとんど吸収されないため、基板の表面が溶融するようなことはない。よって、基板の内部に改質領域が形成されていない場合と同様に、基板の表面に積層部を設けて加工対象物を形成することができる。このようにして形成された加工対象物は、上記と同様の理由により、基板の内部に形成された切断起点領域を起点として比較的小さな力で割って切断することができ、したがって、種々の積層構造を有する加工対象物を高精度に切断することが可能となる。  
20  
25



## 図面の簡単な説明

図 1 は、本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工中の加工対象物の平面図である。

図 2 は、図 1 に示す加工対象物のII-II線に沿った断面図である。

5 図 3 は、本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の加工対象物の平面図である。

図 4 は、図 3 に示す加工対象物のIV-IV線に沿った断面図である。

図 5 は、図 3 に示す加工対象物のV-V線に沿った断面図である。

10 図 6 は、本実施形態に係るレーザ加工方法により切断された加工対象物の平面図である。

図 7 は、本実施形態に係るレーザ加工方法における電界強度とクラックスポットの大きさとの関係を示すグラフである。

図 8 は、本実施形態に係るレーザ加工方法の第 1 工程における加工対象物の断面図である。

15 図 9 は、本実施形態に係るレーザ加工方法の第 2 工程における加工対象物の断面図である。

図 10 は、本実施形態に係るレーザ加工方法の第 3 工程における加工対象物の断面図である。

20 図 11 は、本実施形態に係るレーザ加工方法の第 4 工程における加工対象物の断面図である。

図 12 は、本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

図 13 は、本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

25 図 14 は、本実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成図である。

図 15 は、本実施形態に係るレーザ加工方法を説明するためのフローチャート

である。

図 1 6 A は、実施例 1 に係る加工対象物において基板の裏面近傍に改質領域を形成した場合を示す図である。

5 図 1 6 B は、実施例 1 に係る加工対象物において基板の表面近傍に改質領域を形成した場合を示す図である。

図 1 7 A は、実施例 2 に係る加工対象物において基板の裏面近傍に改質領域を形成した場合を示す図である。

図 1 7 B は、実施例 2 に係る加工対象物において基板の表面近傍に改質領域を形成した場合を示す図である。

10 図 1 8 A は、実施例 3 に係る加工対象物において基板の表面近傍と積層部とに改質領域を形成した場合を示す図である。

図 1 8 B は、実施例 3 に係る加工対象物において基板の裏面近傍に改質領域を形成した場合を示す図である。

15 図 1 8 C は、実施例 3 に係る加工対象物において基板の表面近傍に改質領域を形成した場合を示す図である。

図 1 9 は、実施例 4 に係る加工対象物を示す図である。

図 2 0 A は、実施例 5 に係る加工対象物において基板の表面近傍と積層部の表面近傍とに改質領域を形成した場合を示す図である。

20 図 2 0 B は、実施例 5 に係る加工対象物において基板の裏面近傍と積層部の裏面近傍とに改質領域を形成した場合を示す図である。

図 2 1 A は、実施例 5 に係る加工対象物において基板の表面近傍と積層部の裏面近傍とに改質領域を形成した場合を示す図である。

図 2 1 B は、実施例 5 に係る加工対象物において基板の裏面近傍と積層部の表面近傍とに改質領域を形成した場合を示す図である。

25 図 2 2 は、実施例 6 に係る加工対象物の要部を示す拡大断面図である。  
発明を実施するための最良の形態

以下、図面と共に本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。本実施形態に係るレーザ加工方法では、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成する。そこで、このレーザ加工方法、特に多光子吸収について最初に説明する。

5 材料の吸収のバンドギャップ  $E_g$  よりも光子のエネルギー  $h\nu$  が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は  $h\nu > E_g$  である。しかし、光学的に透明でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると  $n h\nu > E_g$  の条件 ( $n = 2, 3, 4, \dots$ ) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度 ( $W/cm^2$ ) で決まり、例えばピークパワー密度が  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上  
10 の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザ光の1パルス当たりのエネルギー)  $\div$  (レーザ光のビームスポット断面積  $\times$  パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度 ( $W/cm^2$ ) で決まる。

15 このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工の原理について、図1～図6を参照して説明する。図1はレーザ加工中の加工対象物1の平面図であり、図2は図1に示す加工対象物1のII-II線に沿った断面図であり、図3はレーザ加工後の加工対象物1の平面図であり、図4は図3に示す加工対象物1のIV-IV線に沿った断面図であり、図5は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図6は切断された加工対象物1の平面図である。  
20

図1及び図2に示すように、加工対象物1の表面3には、加工対象物1を切断すべき所望の切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である(加工対象物1に実際に線を引いて切断予定ライン5としてもよい)。本実施形態に係るレーザ加工は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部  
25 に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して改質領域7を形成する。なお、集光点とはレーザ光Lが集光した箇所のことである。

レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って（すなわち矢印A方向に沿って）相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部にのみ形成され、この改質領域7によって切断起点領域（切断予定部）8が形成される。本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物1がレーザ光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するのではない。加工対象物1にレーザ光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lがほとんど吸収されないので、加工対象物1の表面3が溶融することはない。

加工対象物1の切断において、切断する箇所に起点があると加工対象物1はその起点から割れるので、図6に示すように比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に不必要な割れを発生させることなく加工対象物1の切断が可能となる。

なお、切断起点領域を起点とした加工対象物の切断には、次の2通りが考えられる。1つは、切断起点領域形成後、加工対象物に人為的な力が印加されることにより、切断起点領域を起点として加工対象物が割れ、加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物の切断起点領域に沿って加工対象物に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の1つは、切断起点領域を形成することにより、切断起点領域を起点として加工対象物の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが小さい場合には、1列の改質領域により切断起点領域が形成されることで可能となり、加工対象物の厚さが大きい場合には、厚さ方向に複数列形成された改質領域により切断起点領域が形成されることで可能となる。なお

、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、切断起点領域が形成されていない部位に対応する部分の表面上にまで割れが先走ることがなく、切断起点領域を形成した部位に対応する部分のみを切断することができるので、切断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の加工対象物の厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい切断方法は大変有効である。

さて、本実施形態において多光子吸収により形成される改質領域としては、次の(1)～(3)がある。

(1) 改質領域が1つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

加工対象物（例えばガラスや $\text{LiTaO}_3$ からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が $1 \mu\text{s}$ 以下の条件でレーザ光を照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物の表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば $1 \times 10^{12}$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) である。パルス幅は例えば $1 \text{ ns} \sim 200 \text{ ns}$ が好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザ熱加工研究会論文集（1998年、12月）の第23頁～第28頁の「固体レーザ高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は次ぎの通りである。

(A) 加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラス（厚さ $700 \mu\text{m}$ ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起Nd:YAGレーザ

波長： $1064 \text{ nm}$

レーザ光スポット断面積：  $3.14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100 kHz

パルス幅：30 ns

5 出力：出力 < 1 mJ / パルス

レーザ光品質：TEM<sub>00</sub>

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

レーザ光波長に対する透過率：60パーセント

10 (D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm / 秒

なお、レーザ光品質がTEM<sub>00</sub>とは、集光性が高くレーザ光の波長程度まで集光可能を意味する。

図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザ光がパルスレーザ光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザ光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分（クラックスポット）の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が100倍、開口数（NA）が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が50倍、開口数（NA）が0.55の場合である。ピークパワー密度が $10^{11} \text{ (W/cm}^2\text{)}$ 程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなることが分かる。

次に、本実施形態に係るレーザ加工において、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて図8～図11を用いて説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレー

ザ光 $L$ を加工対象物 1 に照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域 9 を形成する。クラック領域 9 は 1 つ又は複数のクラックを含む領域である。このクラック領域 9 によって切断起点領域が形成される。図 9 に示すようにクラック領域 9 を起点として（すなわち、切断起点領域を起点として）クラックがさらに成長し、図 10 に示すようにクラックが加工対象物 1 の表面 3 と裏面 21 に到達し、図 11 に示すように加工対象物 1 が割れることにより加工対象物 1 が切断される。加工対象物の表面と裏面に到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。

#### (2) 改質領域が熔融処理領域の場合

加工対象物（例えばシリコンのような半導体材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上で且つパルス幅が 1  $\mu$ s 以下の条件でレーザ光を照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に熔融処理領域が形成される。熔融処理領域とは一旦熔融後再固化した領域や、まさに熔融状態の領域や、熔融状態から再固化する状態の領域であり、相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、熔融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、熔融処理領域は例えば非晶質シリコン構造である。電界強度の上限値としては、例えば  $1 \times 10^{12}$  (W/cm<sup>2</sup>) である。パルス幅は例えば 1 ns ~ 200 ns が好ましい。

本発明者は、シリコンウェハの内部で熔融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は次の通りである。

(A) 加工対象物：シリコンウェハ（厚さ 350  $\mu$ m、外径 4 インチ）

## (B) レーザ

光源：半導体レーザー励起Nd：YAGレーザー

波長：1064nm

レーザー光スポット断面積： $3.14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$

5 発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100kHz

パルス幅：30ns

出力：20μJ／パルス

レーザー光品質：TEM<sub>00</sub>

10 偏光特性：直線偏光

## (C) 集光用レンズ

倍率：50倍

N. A. : 0.55

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

15 (D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100mm／秒

図12は、上記条件でのレーザー加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ11の内部に熔融処理領域13が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域13の厚さ方向の大きさは100μm程度である。

20 熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを説明する。図13は、レーザー光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚さtが50μm、100μm、200μm、500μm、1000μmの各々について上記関係を示した。

25 例えば、Nd：YAGレーザーの波長である1064nmにおいて、シリコン基板の厚さが500μm以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザー光が80%以



上透過することが分かる。図 1 2 に示すシリコンウェハ 1 1 の厚さは  $350\text{ }\mu\text{m}$  であるので、多光子吸収による熔融処理領域 1 3 はシリコンウェハの中心付近、つまり表面から  $175\text{ }\mu\text{m}$  の部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ  $200\text{ }\mu\text{m}$  のシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザ光がシリコンウェハ 1 1 の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ 1 1 の内部でレーザ光が吸収されて、熔融処理領域 1 3 がシリコンウェハ 1 1 の内部に形成（つまりレーザ光による通常の加熱で熔融処理領域が形成）されたものではなく、熔融処理領域 1 3 が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第 6 6 集（2000 年 4 月）の第 7 2 頁～第 7 3 頁の「ピコ秒パルスレーザによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

なお、シリコンウェハは、熔融処理領域によって形成される切断起点領域を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面とに到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、シリコンウェハに力が印加されることにより成長する場合もある。なお、切断起点領域からシリコンウェハの表面と裏面とに割れが自然に成長する場合には、切断起点領域を形成する熔融処理領域が熔融している状態から割れが成長する場合と、切断起点領域を形成する熔融処理領域が熔融している状態から再固化する際に割れが成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も熔融処理領域はシリコンウェハの内部のみに形成され、切断後の切断面には、図 1 2 のように内部にのみ熔融処理領域が形成されている。加工対象物の内部に熔融処理領域によって切断起点領域を形成すると、割断時、切断起点領域ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、割断制御が容易となる。

### （3）改質領域が屈折率変化領域の場合

加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界

強度が  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が  $1 \text{ ns}$  以下の条件でレーザー光を照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば  $1 \times 10^{12}$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) である。パルス幅は例えば  $1 \text{ ns}$  以下が好ましく、 $1 \text{ ps}$  以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザー熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

以上、多光子吸収により形成される改質領域として（1）～（3）の場合を説明したが、ウェハ状の加工対象物の結晶構造やその劈開性などを考慮して切断起点領域を次のように形成すれば、その切断起点領域を起点として、より一層小さな力で、しかも精度良く加工対象物を切断することが可能になる。

すなわち、シリコンなどのダイヤモンド構造の単結晶半導体からなる基板の場合は、（111）面（第1劈開面）や（110）面（第2劈開面）に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。また、GaAsなどの閃亜鉛鉱型構造のIII-V族化合物半導体からなる基板の場合は、（110）面に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。さらに、サファイア（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）などの六方晶系の結晶構造を有する基板の場合は、（0001）面（C面）を主面として（1120）面（A面）或いは（1100）面（M面）に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。

なお、上述した切断起点領域を形成すべき方向（例えば、単結晶シリコン基板における（111）面に沿った方向）、或いは切断起点領域を形成すべき方向に直交する方向に沿って基板にオリエンテーションフラットを形成すれば、そのオリエンテーションフラットを基準とすることで、切断起点領域を形成すべき方向

に沿った切断起点領域を容易且つ正確に基板に形成することが可能になる。

次に、上述したレーザ加工方法に使用されるレーザ加工装置について、図 1 4 を参照して説明する。図 1 4 はレーザ加工装置 1 0 0 の概略構成図である。

レーザ加工装置 1 0 0 は、レーザ光 L を発生するレーザ光源 1 0 1 と、レーザ  
5 光 L の出力やパルス幅等を調節するためにレーザ光源 1 0 1 を制御するレーザ光  
源制御部 1 0 2 と、レーザ光 L の反射機能を有しかつレーザ光 L の光軸の向きを  
9 0° 変えるように配置されたダイクロイックミラー 1 0 3 と、ダイクロイック  
ミラー 1 0 3 で反射されたレーザ光 L を集光する集光用レンズ 1 0 5 と、集光用  
レンズ 1 0 5 で集光されたレーザ光 L が照射される加工対象物 1 が載置される載  
10 置台 1 0 7 と、載置台 1 0 7 を X 軸方向に移動させるための X 軸ステージ 1 0 9  
と、載置台 1 0 7 を X 軸方向に直交する Y 軸方向に移動させるための Y 軸ステー  
ジ 1 1 1 と、載置台 1 0 7 を X 軸及び Y 軸方向に直交する Z 軸方向に移動させる  
ための Z 軸ステージ 1 1 3 と、これら 3 つのステージ 1 0 9, 1 1 1, 1 1 3 の  
移動を制御するステージ制御部 1 1 5 とを備える。

15 この集光点 P の X (Y) 軸方向の移動は、加工対象物 1 を X (Y) 軸ステージ  
1 0 9 (1 1 1) により X (Y) 軸方向に移動させることにより行う。Z 軸方向  
は、加工対象物 1 の表面 3 と直交する方向なので、加工対象物 1 に入射するレー  
ザ光 L の焦点深度の方向となる。よって、Z 軸ステージ 1 1 3 を Z 軸方向に移動  
させることにより、加工対象物 1 の内部にレーザ光 L の集光点 P を合わせること  
20 ができる。これにより、例えば、加工対象物 1 が多層構造を有しているような場  
合に、加工対象物 1 の基板や或いは当該基板上の積層部等、所望の位置に集光点  
P を合わせることができる。

レーザ光源 1 0 1 はパルスレーザ光を発生する Nd : YAG レーザである。レ  
ーザ光源 1 0 1 に用いることができるレーザとして、この他、Nd : YVO<sub>4</sub> レ  
ーザ、Nd : YLF レーザやチタンサファイアレーザがある。本実施形態では、  
25 加工対象物 1 の加工にパルスレーザ光を用いているが、多光子吸収を起こさせる

ことができるなら連続波レーザ光でもよい。

レーザ加工装置 100 はさらに、載置台 107 に載置された加工対象物 1 を可視光線により照明するために可視光線を発生する観察用光源 117 と、ダイクロイックミラー 103 及び集光用レンズ 105 と同じ光軸上に配置された可視光用のビームスプリッタ 119 とを備える。ビームスプリッタ 119 と集光用レンズ 105 との間にダイクロイックミラー 103 が配置されている。ビームスプリッタ 119 は、可視光線の約半分を反射し残りの半分を透過する機能を有しかつ可視光線の光軸の向きを  $90^\circ$  変えるように配置されている。観察用光源 117 から発生した可視光線はビームスプリッタ 119 で約半分が反射され、この反射された可視光線がダイクロイックミラー 103 及び集光用レンズ 105 を透過し、加工対象物 1 の切断予定ライン 5 等を含む表面 3 を照明する。なお、加工対象物 1 の裏面が集光用レンズ 105 側となるよう加工対象物 1 が載置台 107 に載置された場合は、ここでいう「表面」が「裏面」となるのは勿論である。

レーザ加工装置 100 はさらに、ビームスプリッタ 119、ダイクロイックミラー 103 及び集光用レンズ 105 と同じ光軸上に配置された撮像素子 121 及び結像レンズ 123 を備える。撮像素子 121 としては例えば CCD カメラがある。切断予定ライン 5 等を含む表面 3 を照明した可視光線の反射光は、集光用レンズ 105、ダイクロイックミラー 103、ビームスプリッタ 119 を透過し、結像レンズ 123 で結像されて撮像素子 121 で撮像され、撮像データとなる。

レーザ加工装置 100 はさらに、撮像素子 121 から出力された撮像データが入力される撮像データ処理部 125 と、レーザ加工装置 100 全体を制御する全体制御部 127 と、モニタ 129 とを備える。撮像データ処理部 125 は、撮像データを基にして観察用光源 117 で発生した可視光の焦点を加工対象物 1 の表面 3 上に合わせるための焦点データを演算する。この焦点データを基にしてステージ制御部 115 が Z 軸ステージ 113 を移動制御することにより、可視光の焦点が加工対象物の表面 3 に合うようにする。よって、撮像データ処理部 125 は

オートフォーカスユニットとして機能する。また、撮像データ処理部 1 2 5 は、撮像データを基にして表面 3 の拡大画像等の画像データを演算する。この画像データは全体制御部 1 2 7 に送られ、全体制御部で各種処理がなされ、モニタ 1 2 9 に送られる。これにより、モニタ 1 2 9 に拡大画像等が表示される。

5 全体制御部 1 2 7 には、ステージ制御部 1 1 5 からのデータ、撮像データ処理部 1 2 5 からの画像データ等が入力し、これらのデータも基にしてレーザ光源制御部 1 0 2、観察用光源 1 1 7 及びステージ制御部 1 1 5 を制御することにより、レーザ加工装置 1 0 0 全体を制御する。よって、全体制御部 1 2 7 はコンピュータユニットとして機能する。

10 次に、本実施形態に係るレーザ加工方法について、図 1 4 及び図 1 5 を参照して説明する。図 1 5 は、本実施形態に係るレーザ加工方法を説明するためのフローチャートである。なお、本実施形態において、加工対象物 1 は、基板と当該基板の表面に設けられた積層部とを有している。また、加工対象物 1 は、図 1 4 に示すレーザ加工装置 1 0 0 の載置台 1 0 7 に、基板の裏面が集光用レンズ 1 0 5 側となるよう載置される。すなわち、レーザ光 L は、加工対象物 1 が有している  
15 基板の裏面側から照射される。

まず、加工対象物 1 の基板の光吸収特性を図示しない分光光度計等により測定する。この測定結果に基づいて、加工対象物 1 の基板に対して透明な波長又は吸収の少ない波長のレーザ光 L を発生するレーザ光源 1 0 1 を選定する (S 1 0 1 )。なお、このレーザ光 L は基板の裏面側から照射されることとなるため、基板の表面に設けられた積層部がこのレーザ光に対し遮光性や吸収性を有している場合  
20 であっても、レーザ加工の妨げとなるようなことはない。

続いて、加工対象物 1 の基板の厚さや屈折率、及び基板の表面に形成されている積層部の厚さや材質等を考慮して、加工対象物 1 の Z 軸方向の移動量を決定する (S 1 0 3)。これは、加工対象物 1 が有している基板内部の所望の位置にレーザ光 L の集光点 P を合わせるために、加工対象物 1 の基板の裏面に位置するレー  
25

ザ光Lの集光点Pを基準とした加工対象物1のZ軸方向の移動量である。この移動量は全体制御部127に入力される。

加工対象物1をレーザ加工装置100の載置台107に基板の裏面が集光用レンズ105側となるよう載置する。そして、観察用光源117から可視光を発生させて加工対象物1の基板の裏面を照明する(S105)。照明された切断予定ライン5を含む裏面を撮像素子121により撮像する。切断予定ライン5は、加工対象物1を切断すべき所望の仮想線である。撮像素子121により撮像された撮像データは撮像データ処理部125に送られる。この撮像データに基づいて撮像データ処理部125は、観察用光源117の可視光の焦点が加工対象物1の基板の裏面に位置するような焦点データを演算する(S107)。

この焦点データはステージ制御部115に送られる。ステージ制御部115は、この焦点データを基にしてZ軸ステージ113をZ軸方向の移動させる(S109)。これにより、観察用光源117の可視光の焦点が加工対象物1の基板の裏面に位置する。なお、撮像データ処理部125は撮像データに基づいて、切断予定ライン5を含む加工対象物1の基板裏面の拡大画像データを演算する。この拡大画像データは全体制御部127を介してモニタ129に送られ、これによりモニタ129に切断予定ライン5付近の拡大画像が表示される。

全体制御部127には予めステップS103で決定された移動量データが入力されており、この移動量データがステージ制御部115に送られる。ステージ制御部115はこの移動量データに基づいて、レーザ光Lの集光点Pが加工対象物1の基板の内部となる位置に、Z軸ステージ113により加工対象物1をZ軸方向に移動させる(S111)。

続いて、レーザ光源101からレーザ光Lを発生させて、レーザ光Lを加工対象物1の基板裏面の切断予定ライン5に照射する。レーザ光Lの集光点Pは加工対象物1の基板の内部に位置しているので、改質領域は加工対象物1の基板の内部にのみ形成される。そして、切断予定ライン5に沿うようにX軸ステージ10

9やY軸ステージ111を移動させて、切断予定ライン5に沿うよう形成された改質領域によって切断予定ライン5に沿う切断起点領域を加工対象物1の内部に形成する(S113)。

5 以上説明したように、本実施形態に係るレーザ加工方法によれば、加工対象物1が有する基板の裏面側からレーザ光Lを照射し、当該基板の内部に、多光子吸収により形成される改質領域によって、加工対象物1を切断すべき所望の切断予定ライン5に沿った切断起点領域を形成することができる。そして、基板の内部に形成された改質領域の位置は、基板の表面に設けられている積層部の厚さや材質等を考慮して、レーザ光Lの集光点Pを合わせる位置を調節することにより制御されている。したがって、基板の内部に形成された切断起点領域を起点として、  
10 基板の表面に積層部が設けられて構成された加工対象物1を比較的小さな力で割って切断することができる。

15 なお、加工対象物1の積層部に対して透明な波長又は吸収の少ない波長のレーザ光Lにより、積層部の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射し、積層部の内部にも切断予定ライン5に沿った切断起点領域を形成してもよく、この場合、加工対象物1をより小さな力で割って切断することができる。

本実施形態に係るレーザ加工方法の実施例について、図16～図21を参照して説明する。

#### [実施例1]

20 図16Aは、実施例1に係る加工対象物1において基板15の裏面近傍に改質領域7を形成した場合を示す図であり、図16Bは、実施例1に係る加工対象物1において基板15の表面近傍に改質領域7を形成した場合を示す図である。図16A及び図16Bに示す加工対象物1としては、次世代高速・低消費電力デバイス用のものや次世代デバイス用のものがある。

25 次世代高速・低消費電力デバイス用における基板15／第1の積層部17a／第2の積層部17bは、それぞれSi(500μm)／SiO<sub>2</sub>(1μm)／S

i (3 μm) である。一方、次世代デバイス用における基板 15 / 第 1 の積層部 17 a / 第 2 の積層部 17 b は、それぞれ Si (500 μm) / SrTiO<sub>3</sub> (数 100 nm) / GaAs (数 100 nm) である (括弧内の数値は厚さを示す)。

図 1 6 A に示すように、改質領域 7 が加工対象物 1 の裏面 2 1 近傍に位置する場合には、改質領域 7 でもって形成された切断起点領域に沿うよう加工対象物 1 の表面 3 にナイフエッジ 2 3 を押し当てて、加工対象物 1 を割って切断する。これは、ナイフエッジ 2 3 の押し当てにより生じる曲げ応力のうち大きな引張応力が改質領域 7 に作用するため、比較的小さな力で加工対象物 1 を切断することができるからである。一方、図 1 6 B に示すように、改質領域 7 が加工対象物 1 の表面 3 近傍に位置する場合には、同様の理由から、加工対象物 1 の裏面 3 にナイフエッジ 2 3 を押し当てて加工対象物 1 を割って切断する。

なお、「改質領域 7 が加工対象物 1 の裏面 2 1 近傍に位置する」とは、切断起点領域を構成する改質領域 7 が、加工対象物 1 の厚さ方向における中心位置（厚さの半分の位置）から裏面 2 1 側に偏倚して形成されていることを意味する。つまり、加工対象物 1 の厚さ方向における改質領域 7 の幅の中心位置が、加工対象物 1 の厚さ方向における中心位置から裏面 2 1 側に偏倚して位置している場合を意味し、改質領域 7 の全ての部分が加工対象物 1 の厚さ方向における中心位置に対して裏面 2 1 側に位置している場合のみに限る意味ではない。同様に、「改質領域 7 が加工対象物 1 の表面 3 近傍に位置する」とは、切断起点領域を構成する改質領域 7 が、加工対象物 1 の厚さ方向における中心位置から表面 3 側に偏倚して形成されていることを意味する。以上のことは、基板 1 5 に対する改質領域 7 の形成位置についても同様である。

### [实施例 2]

図１７Ａは、実施例２に係る加工対象物１において基板１５の裏面近傍に改質領域７を形成した場合を示す図であり、図１７Ｂは、実施例２に係る加工対象物



1において基板15の表面近傍に改質領域7を形成した場合を示す図である。図17A及び図17Bに示す加工対象物1は青色LD・LED用のものであり、基板15／積層部17としては、 $Al_2O_3$  (500  $\mu m$ ) / GaN等の半導体結晶を複数層形成した積層機能膜 (数100 nm) や、 $Al_2O_3$  (500  $\mu m$ ) / ZnO等の層を複数層形成した積層機能膜 (数100 nm) の場合がある (括弧内の数値は厚さを示す)。

実施例1に係る加工対象物1の場合と同様の理由から、図17Aに示すように、改質領域7が加工対象物1の裏面21近傍に位置する場合には、加工対象物1の表面3にナイフエッジ23を押し当てて加工対象物1を割って切断する。一方、図17Bに示すように、改質領域7が加工対象物1の表面3近傍に位置する場合には、加工対象物1の裏面21にナイフエッジ23を押し当てて加工対象物1を割って切断する。

#### [実施例3]

図18Aは、実施例3に係る加工対象物1において基板15の表面近傍と積層部17とに改質領域7を形成した場合を示す図であり、図18Bは、実施例3に係る加工対象物1において基板15の裏面近傍に改質領域7を形成した場合を示す図であり、図18Cは、実施例3に係る加工対象物1において基板15の表面近傍に改質領域7を形成した場合を示す図である。図18A～図18Cに示す加工対象物1は赤外光検出デバイス用のものであり、基板15／積層部17としては、 $Al_2O_3$  (500  $\mu m$ ) / PbSe (10  $\mu m$ ) や、 $Al_2O_3$  (500  $\mu m$ ) / HgCdTe (10  $\mu m$ ) の場合がある (括弧内の数値は厚さを示す)。

実施例1に係る加工対象物1の場合と同様の理由から、図18A及び図18Cに示すように、改質領域7が加工対象物1の表面3近傍に位置する場合には、加工対象物1の裏面21にナイフエッジ23を押し当てて加工対象物1を割って切断する。一方、図18Bに示すように、改質領域7が加工対象物1の裏面21近傍に位置する場合には、加工対象物1の表面3にナイフエッジ23を押し当てて

加工対象物 1 を割って切断する。

〔実施例 4〕

図 1 9 は、実施例 4 に係る加工対象物 1 を示す図である。図 1 9 に示す加工対象物 1 は多層ガラスであり、基板 1 5 としてのガラス基板上に第 1 の積層部 1 7 a 及び第 2 の積層部 1 7 b としてのガラス基板 2 枚を貼り合わせて積層させたものである。各ガラス基板における改質領域 7 は、加工対象物 1 の裏面 2 1 側に形成されている。この場合も、実施例 1 に係る加工対象物 1 の場合と同様の理由から、加工対象物 1 の表面 3 にナイフエッジ 2 3 を押し当てて加工対象物 1 を割って切断する。このように積層部の厚さが厚い場合や積層部の硬度が高い場合には、積層部の内部にも切断起点領域を形成すれば、加工対象物 1 をより小さな力で割って切断することができる。

〔実施例 5〕

図 2 0 A ～図 2 1 B は、実施例 5 に係る加工対象物 1 を示す図である。図 2 0 A は、実施例 5 に係る加工対象物 1 において基板 1 5 の表面近傍と積層部 1 7 の表面近傍とに改質領域 7 を形成した場合を示す図であり、図 2 0 B は、実施例 5 に係る加工対象物 1 において基板 1 5 の裏面近傍と積層部 1 7 の裏面近傍とに改質領域 7 を形成した場合を示す図である。また、図 2 1 A は、実施例 5 に係る加工対象物 1 において基板 1 5 の表面近傍と積層部 1 7 の裏面近傍とに改質領域 7 を形成した場合を示す図であり、図 2 1 B は、実施例 5 に係る加工対象物 1 において基板 1 5 の裏面近傍と積層部 1 7 の表面近傍とに改質領域 7 を形成した場合を示す図である。

図 2 0 A ～図 2 1 B に示す加工対象物 1 は反射型の液晶表示装置用のものである。基板 1 5 は、共通電極が形成されたガラス基板（厚さ 1.8 mm、外径 8 インチ）であり、積層部 1 7 は、TFT が形成された Si 基板（厚さ 500  $\mu$ m、外径 8 インチ）である。基板 1 5 と積層部 1 7 とは、液晶が入る間隙を設けて接着剤 2 5 により互いに貼り付けられている。

図 2 0 A 及び図 2 0 B の場合は、加工対象物 1 の裏面 2 1 側からレーザ光を照射して、積層部 1 7 の内部に改質領域 7 を形成し、その後、加工対象物 1 の裏面 2 1 側からレーザ光を照射して、基板 1 5 の内部に改質領域 7 を形成している。これは、レーザ光が基板 1 5 及び積層部 1 7 の両者に対して透明な波長又は吸収の少ない波長を有しているからである。そして、実施例 1 に係る加工対象物 1 の場合と同様の理由から、図 2 0 A の場合には、加工対象物 1 の裏面 2 1 にナイフエッジ 2 3 を押し当てて加工対象物 1 を割って切断する。一方、図 2 0 B の場合には、加工対象物 1 の表面 3 にナイフエッジ 2 3 を押し当てて加工対象物 1 を割って切断する。

このように、基板 1 5 及び積層部 1 7 の両者に対して透明な波長又は吸収の少ない波長を有するレーザ光を用いて基板 1 5 と積層部 1 7 とに切断起点領域を形成すれば、従来のダイヤモンドスクライブ法で行われる加工対象物 1 の反転作業を省くことができ、反転作業時の加工対象物 1 の破壊等を防止することができる。また、基板 1 5 と積層部 1 7 とに形成される切断起点領域に位置ずれが生じることも防止することができ、これにより精度の高い加工対象物 1 の切断が可能となる。さらに、従来のブレードダイシング法では必須である潤滑洗浄水が不要であるため、基板 1 5 と積層部 1 7 と間の間隙に潤滑洗浄水が入り込んでしまうというような問題もない。

図 2 1 A 及び図 2 1 B の場合は、加工対象物 1 の裏面 2 1 側からレーザ光を照射して、基板 1 5 の内部に改質領域 7 を形成し、その後、加工対象物 1 の表面 3 側からレーザ光を照射して、積層部 1 7 の内部に改質領域 7 を形成している。そして、実施例 1 に係る加工対象物 1 の場合と同様の理由から、図 2 1 A の場合には、最初に加工対象物 1 の裏面 2 1 にナイフエッジ 2 3 を押し当てて基板 1 5 を割って切断し、次に加工対象物 1 の表面 3 にナイフエッジ 2 3 を押し当てて積層部 1 7 を割って切断する。一方、図 2 1 B の場合には、最初に加工対象物 1 の表面 3 にナイフエッジ 2 3 を押し当てて基板 1 5 を割って切断し、次に加工対象物

1の裏面21にナイフエッジ23を押し当てて積層部17を割って切断する。

〔実施例6〕

図22は、実施例6に係る加工対象物1の要部を示す拡大断面図である。この加工対象物1は、シリコンウェハである基板15上に多数のチップ形成領域Fを  
5 設け、隣り合うチップ形成領域F、F間をダイシングライン領域Dとしたものであり、図22は、チップ形成領域Fとダイシングライン領域Dとが連続する部分の断面を示している。なお、切断予定ラインは、このダイシングライン領域Dに沿って設定される。

同図に示すように、基板15上には層間絶縁膜（積層部）31が形成されており、基板15のチップ形成領域Fにおいては、層間絶縁膜31上に金属配線層3  
10 2が設けられている。さらに、基板15上には、層間絶縁膜31及び金属配線層32を覆うように層間絶縁膜（積層部）33が形成され、基板15のチップ形成領域Fにおいては、層間絶縁膜33上に金属配線層34が設けられている。そして、基板15と金属配線層32とは、層間絶縁膜31を貫通するプラグ35により  
15 り電氣的に接続されている。また、金属配線層32と金属配線層34とは、層間絶縁膜33を貫通するプラグ36により電氣的に接続されている。

このように構成された加工対象物1に対して基板15の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、ダイシングライン領域D沿って（すなわち、切断予定ラインに沿って）基板15の内部に改質領域7を形成し、この改質領域7によって切  
20 断起点領域を形成する。そして、切断起点領域に沿って加工対象物1の表面3又は裏面21にナイフエッジ23を押し当てることで、加工対象物1を高精度に切断することができる。

以上の実施例6に係る加工対象物1のように、基板15の切断予定ライン上に、 $\text{SiO}_2$ や $\text{SiN}$ 等からなる絶縁膜31、32が積層部として形成されている  
25 場合にも、加工対象物1を高精度に切断することが可能である。

以上、本発明の実施形態について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に

限定されないことはいうまでもない。

上記実施形態では、基板と当該基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物に対してレーザ光を照射し切断起点領域を形成する場合について説明したが、本発明では、基板に対してレーザ光を照射し切断起点領域を形成した後に、

5 基板の表面に積層部を設けて加工対象物を形成してもよい。

このレーザ加工方法によれば、基板の表面に積層部を設ける前に、基板の内部に切断起点領域を形成するが、多光子吸収による改質領域の形成は局所的なものであって、基板の表面ではレーザ光がほとんど吸収されないため、基板の表面が熔融するようなことはない。よって、基板の内部に改質領域が形成されていない

10 場合と同様に、基板の表面に積層部を設けて加工対象物を形成することができる。このようにして形成された加工対象物は、上記実施形態と同様の理由により、基板の内部に形成された切断起点領域を起点として比較的小さな力で割って切断することができる。

#### 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係るレーザ加工方法によれば、加工対象物が有する基板の内部に、多光子吸収という現象により形成される改質領域でもって、加工対象物を切断すべき所望の切断予定ラインに沿った切断起点領域を形成することができる。しかも、基板の表面に設けられている積層部の厚さや材質等を考慮して、基板の表面から切断起点領域における改質領域までの距離を、レーザ光

20 の集光点を合わせる位置を調節することにより制御することができる。したがって、基板の内部に形成された切断起点領域を起点として、基板の表面に積層部が設けられて構成された加工対象物を比較的小さな力で割って切断することができる。なお、積層部の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、積層部の内部にも上記切断予定ラインに沿った切断起点領域を形成してもよく、この場合、加工

25 対象物をより小さな力で割って切断することができる。以上により、種々の積層構造を有する加工対象物を高精度に切断することが可能となる。

## 請求の範囲

1. 基板と前記基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも前記基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、少なくとも前記基板の内部に多光子吸収による改質領域を形成し、この改質領域によって、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とするレーザ加工方法。

2. 基板と前記基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも前記基板の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が  $1 \mu\text{s}$  以下の条件でレーザ光を照射し、少なくとも前記基板の内部にクラック領域を含む改質領域を形成し、この改質領域によって、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とするレーザ加工方法。

3. 基板と前記基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも前記基板の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が  $1 \mu\text{s}$  以下の条件でレーザ光を照射し、少なくとも前記基板の内部に熔融処理領域を含む改質領域を形成し、この改質領域によって、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とするレーザ加工方法。

4. 基板と前記基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも前記基板の内部に集光点を合わせて、集光点におけるピークパワー密度が  $1 \times 10^8$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) 以上で且つパルス幅が  $1 \text{ns}$  以下の条件でレーザ光を照射し、少なくとも前記基板の内部に屈折率が変化した領域である屈折率変化領域を含む改質領域を形成し、この改質領域によって、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を

形成する工程を備えることを特徴とするレーザ加工方法。

5 5. 基板と前記基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも前記基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、少なくとも前記基板の内部に改質領域を形成し、この改質領域によって、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とするレーザ加工方法。

10 6. 基板と前記基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物に対し、前記基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射すると共に、前記積層部の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、前記基板の内部と前記積層部の内部とにそれぞれ改質領域を形成し、この改質領域によって、前記加工対象物の切断予定ラインに沿って前記加工対象物のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程を備えることを特徴とするレーザ加工方法。

15 7. 基板と前記基板の表面に設けられた積層部とを有する加工対象物の少なくとも前記基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、少なくとも前記基板の内部に切断予定ラインに沿って改質領域を形成することで、前記加工対象物を切断することを特徴とするレーザ加工方法。

20 8. 前記改質領域は、前記基板の内部においてクラックが発生した領域であるクラック領域、前記基板の内部において溶融処理した領域である溶融処理領域、及び前記基板の内部において屈折率が変化した領域である屈折率変化領域のうちの少なくともいずれか1つを含むことを特徴とする請求の範囲第5項～第7項のいずれか1項記載のレーザ加工方法。

9. 前記基板の内部に集光点が合わされて照射されるレーザ光は、前記基板の裏面側から照射されることを特徴とする請求の範囲第1項～第7項のいずれか1項記載のレーザ加工方法。

25 10. 基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、前記基板の内部に多光子吸収による改質領域を形成し、この改質領域によって、前記基板の切断予定

ラインに沿って前記基板のレーザ光入射面から所定距離内側に切断起点領域を形成する工程と、

前記切断起点領域を形成する工程後、前記基板の表面に積層部を設ける工程と

、

5      を備えることを特徴とするレーザ加工方法。



図1

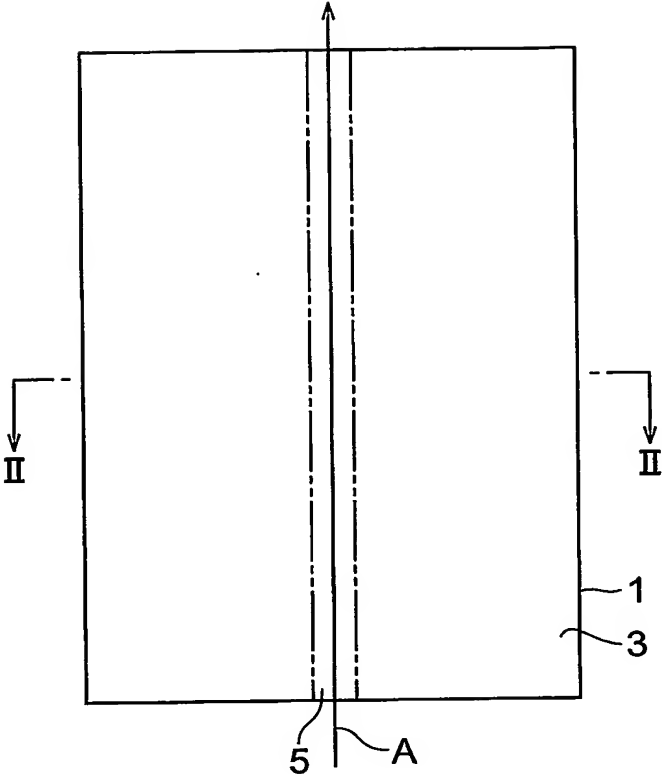


図2

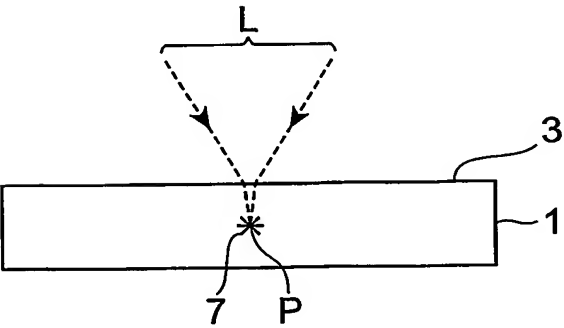


図3

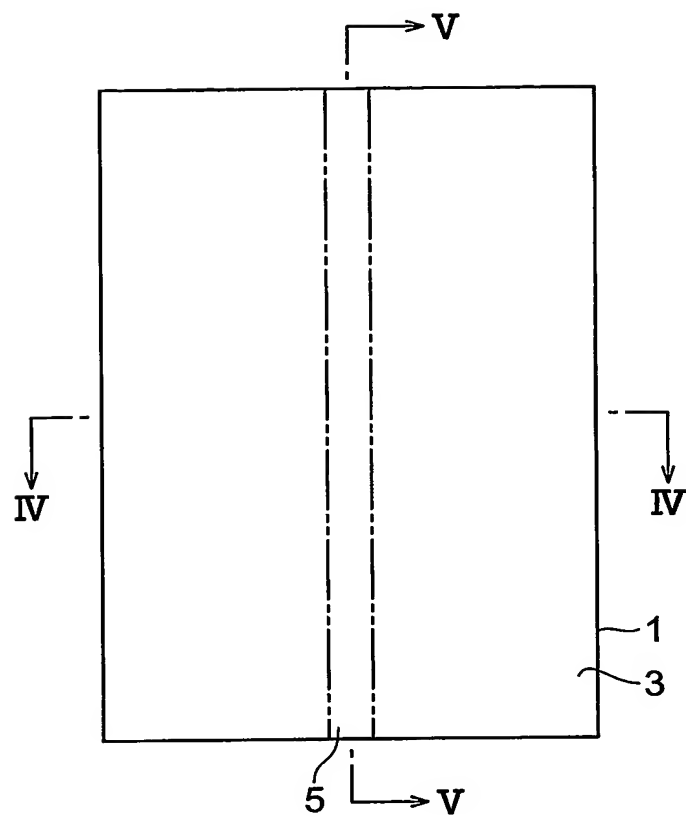


図4

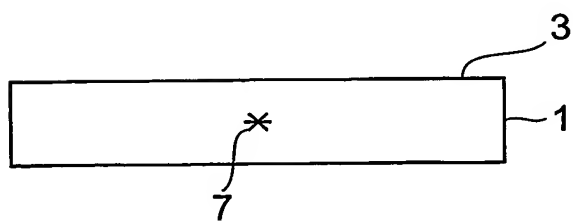


図5

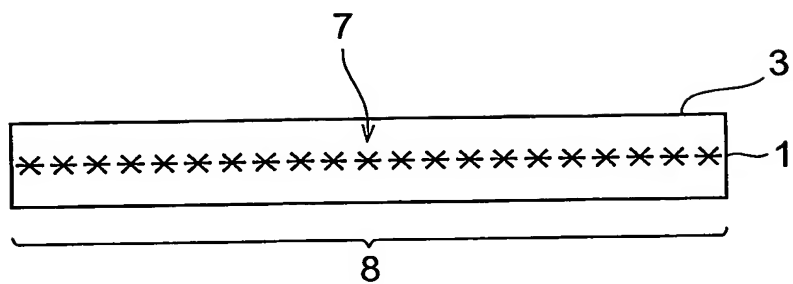


図6

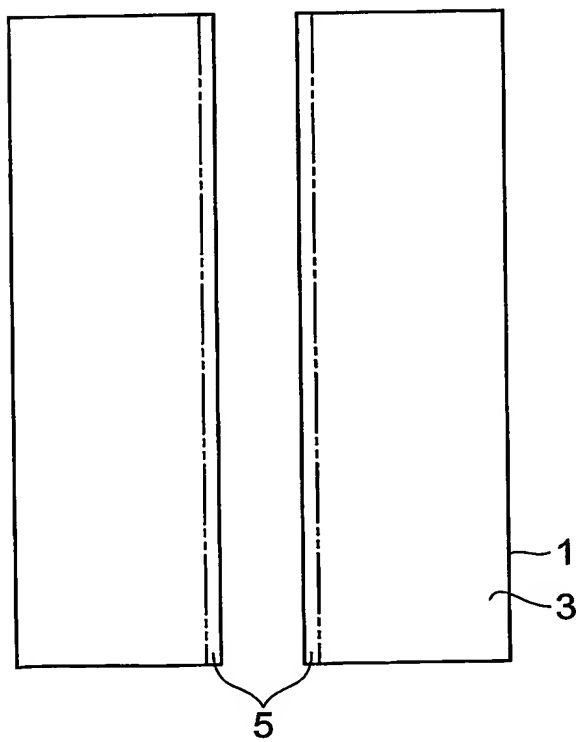


図7

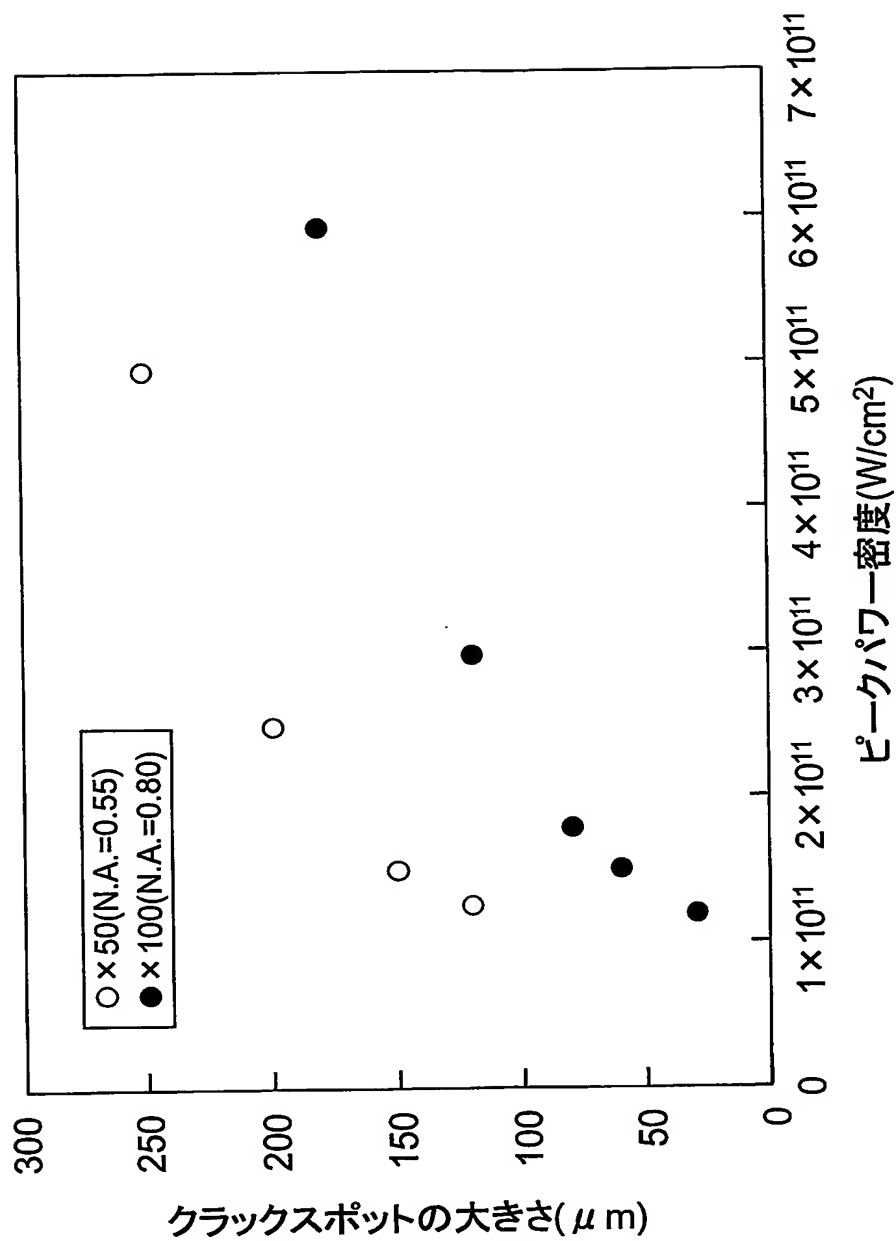


図8

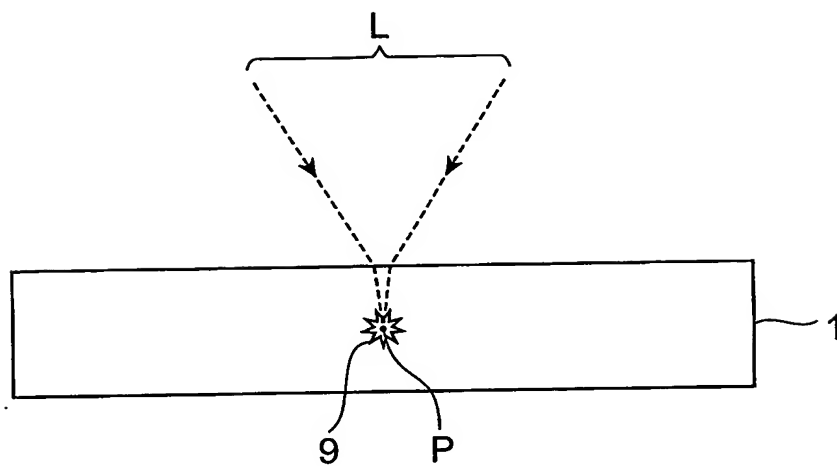


図9

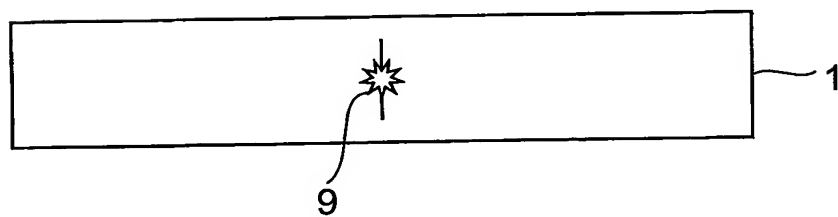


図10

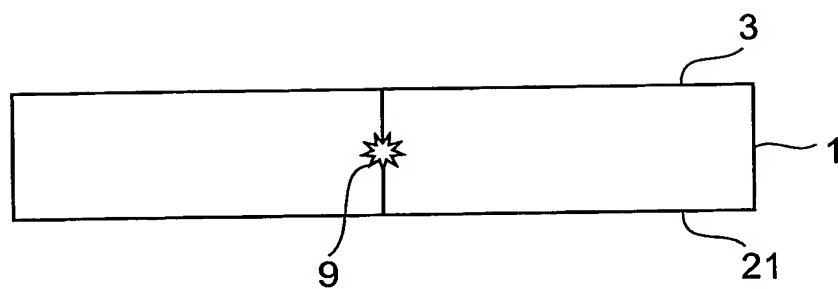


図11

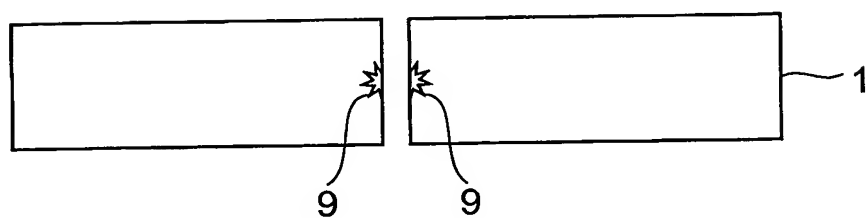


図12

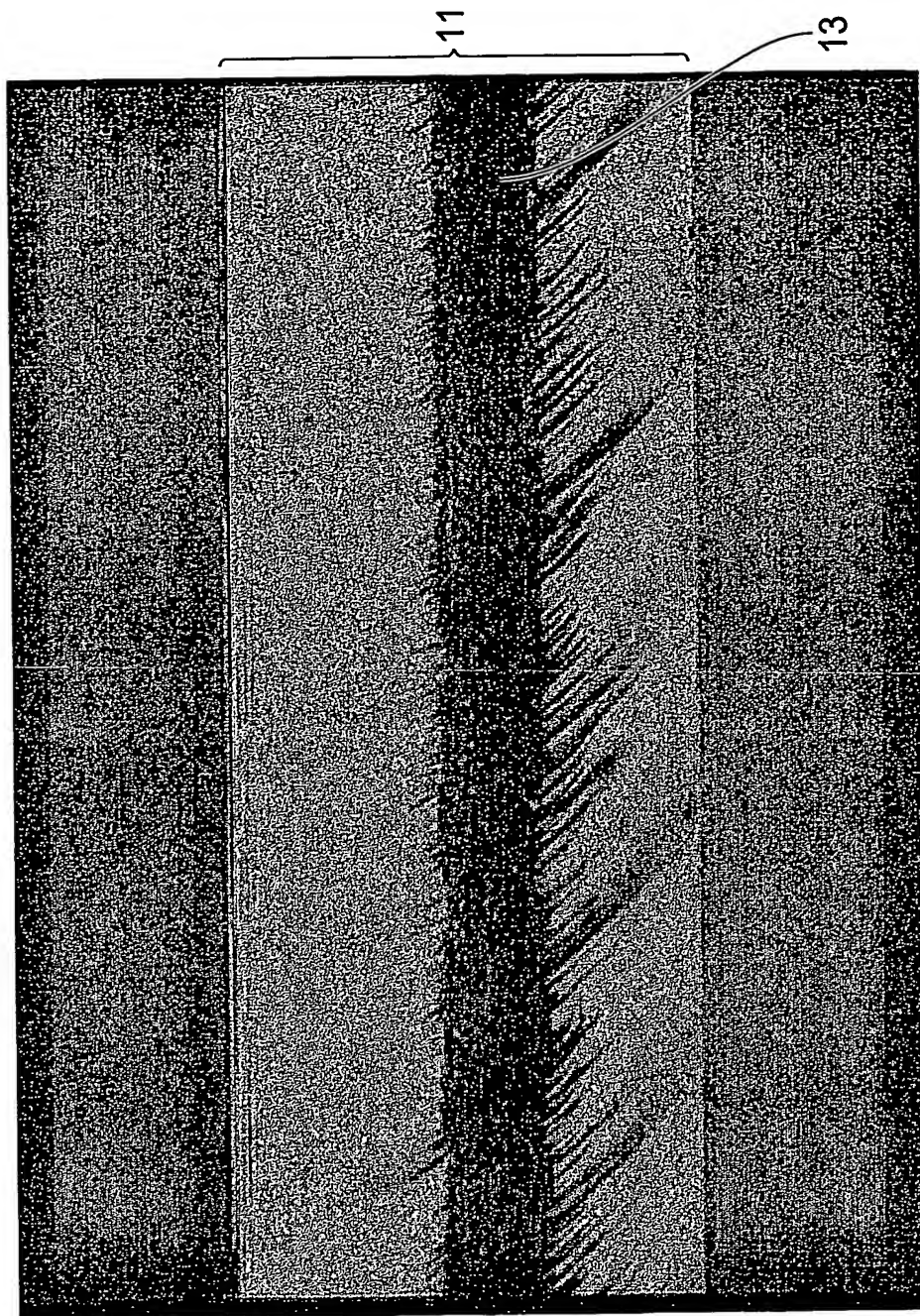
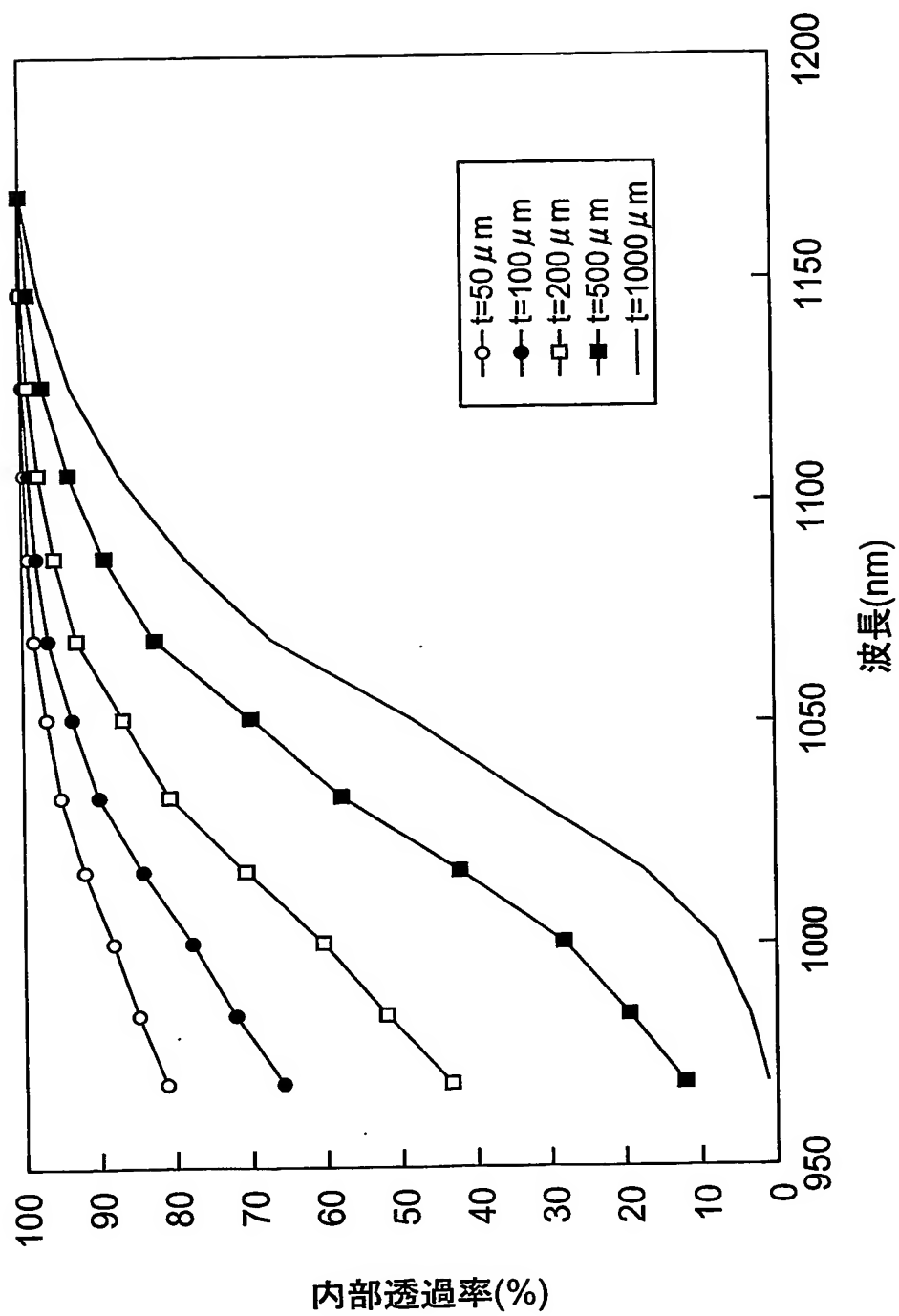


図13





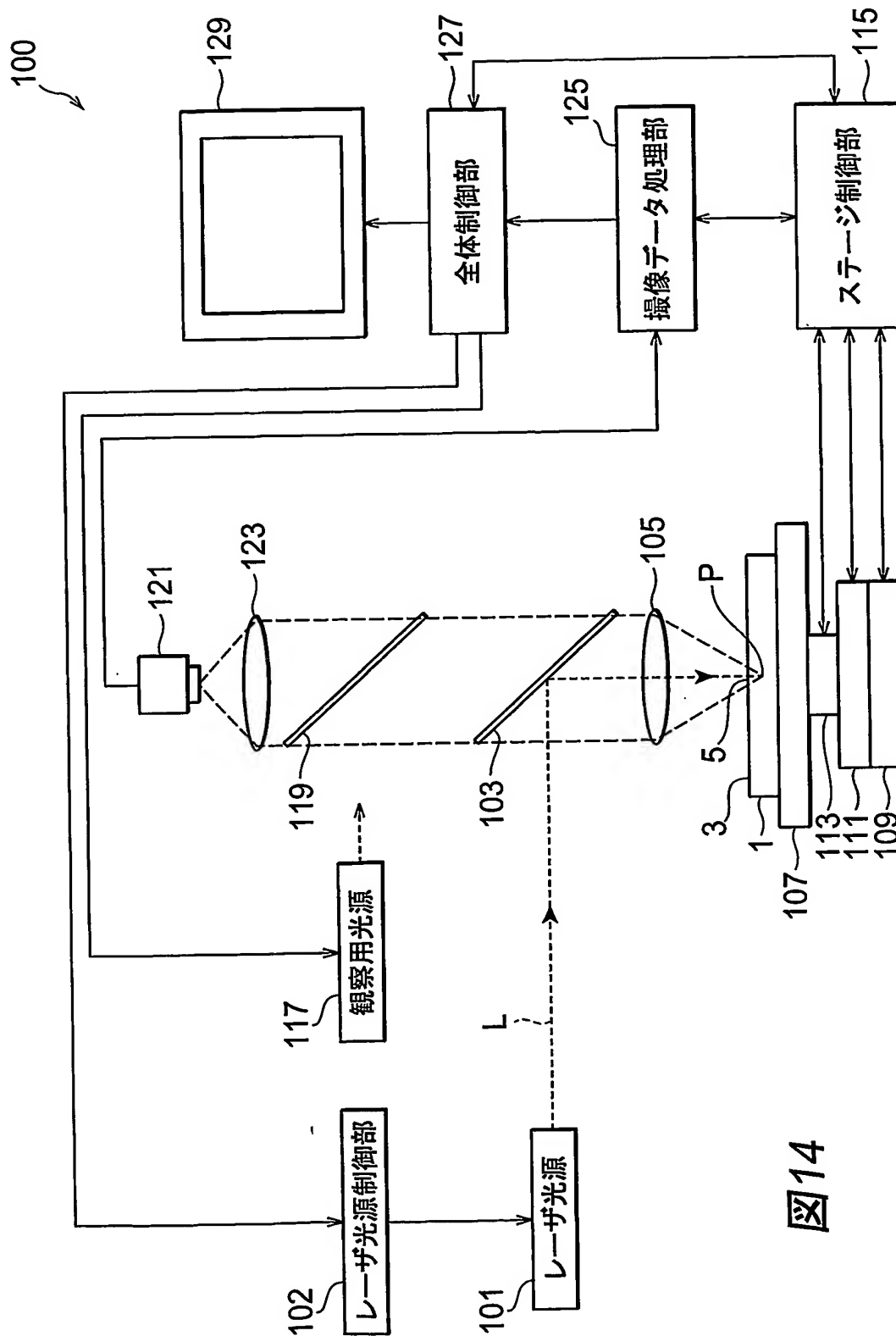


図14

図15

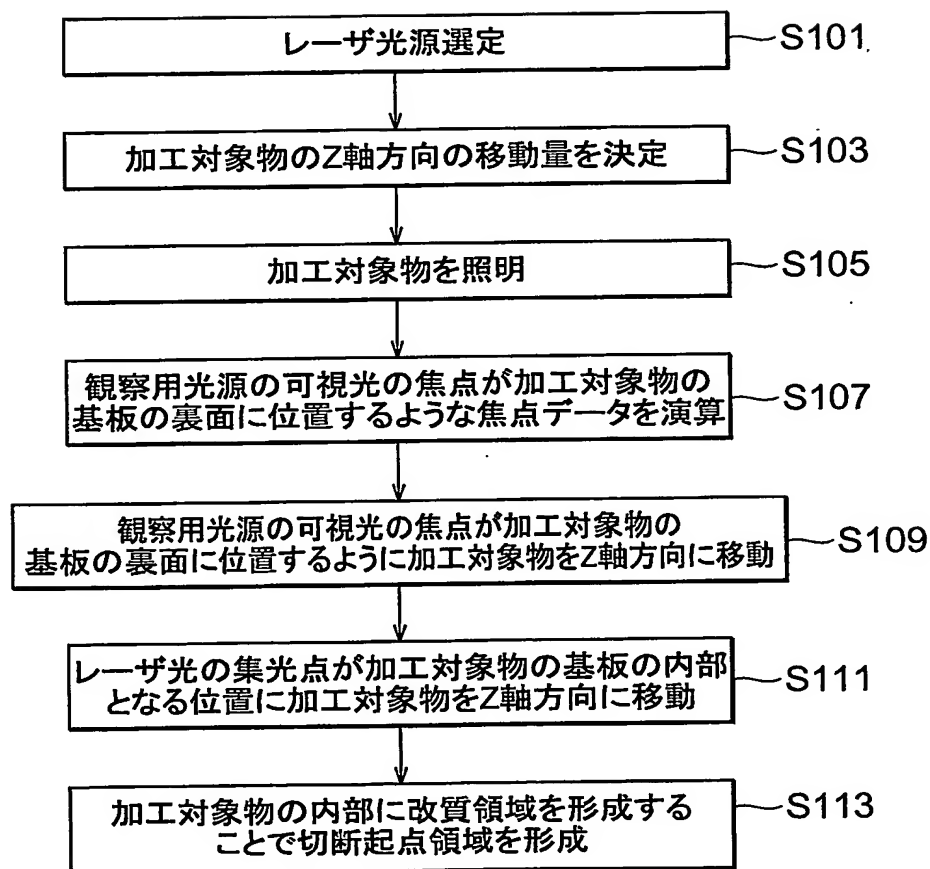


図16A

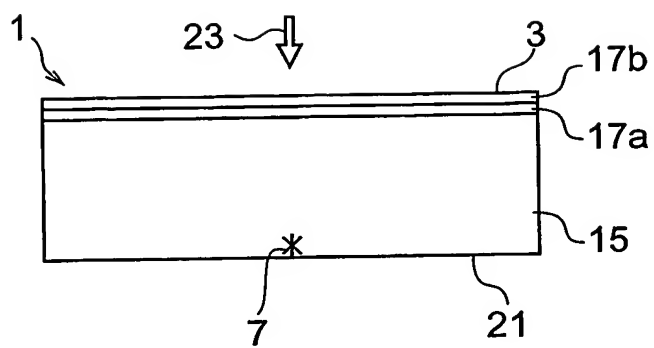


図16B

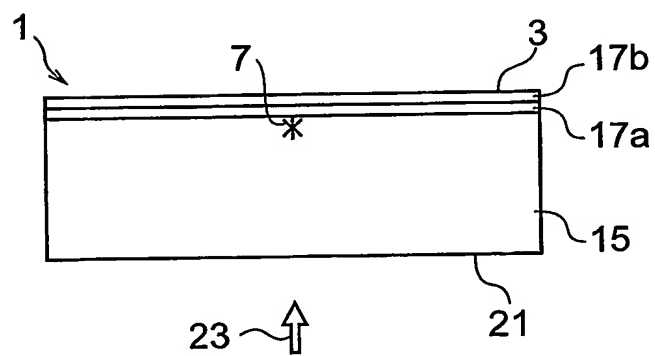


図17A

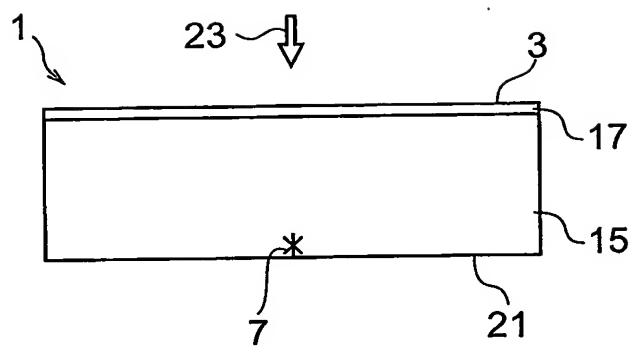


図17B

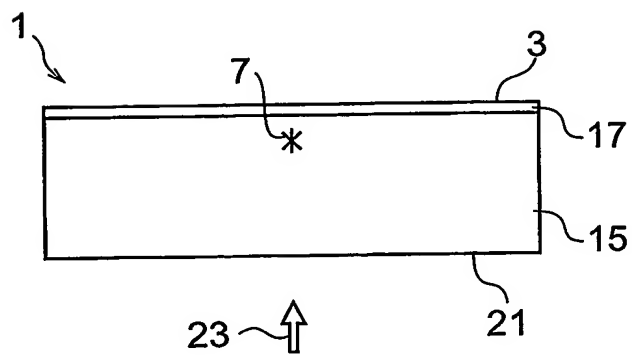


図18A

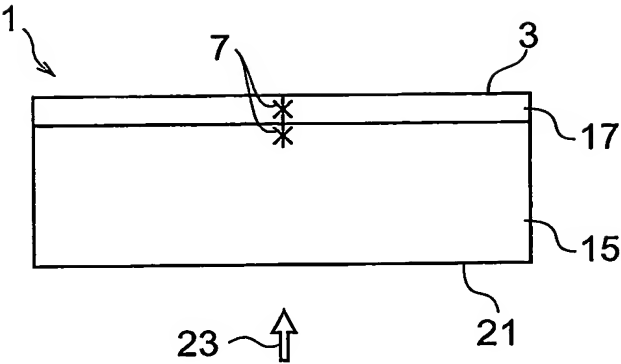


図18B

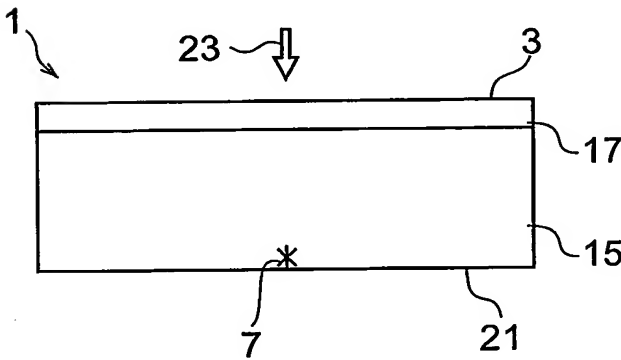


図18C

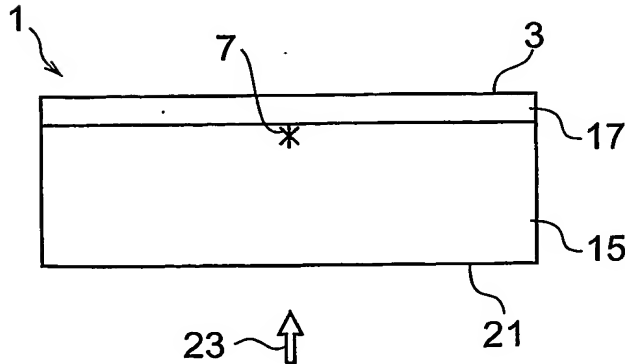


図19

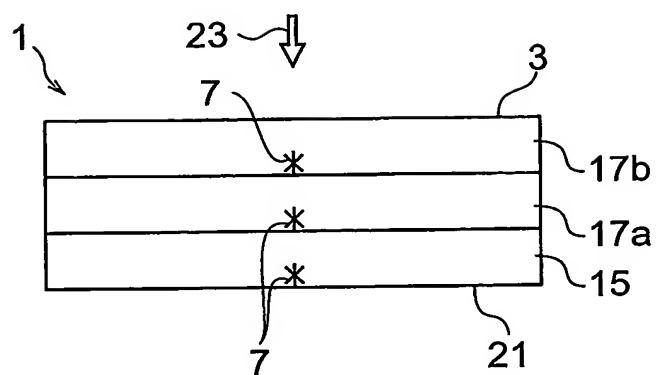


図20A

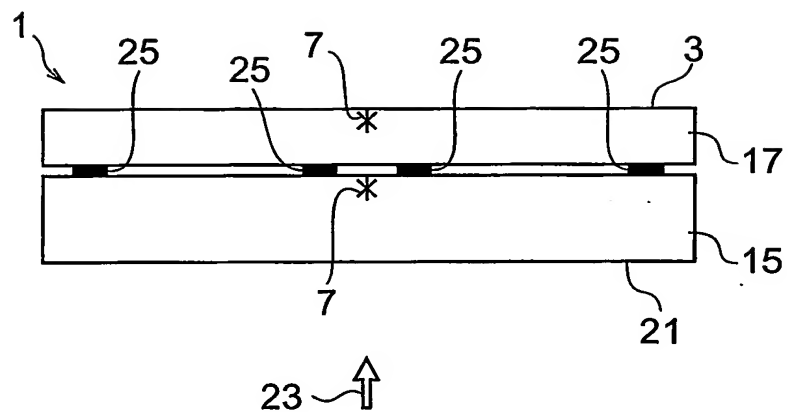


図20B

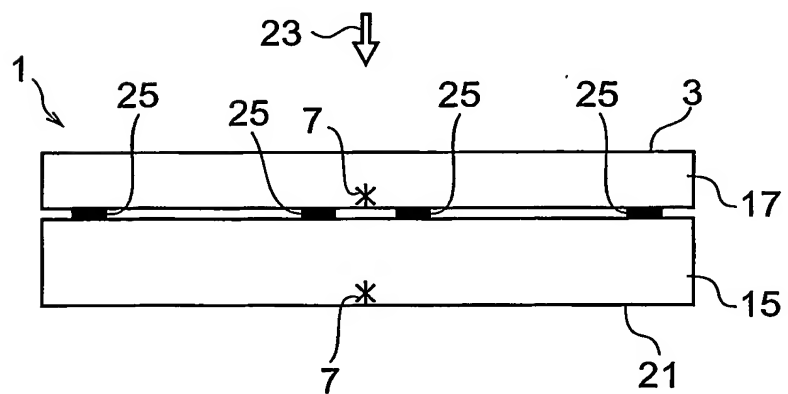


図21A

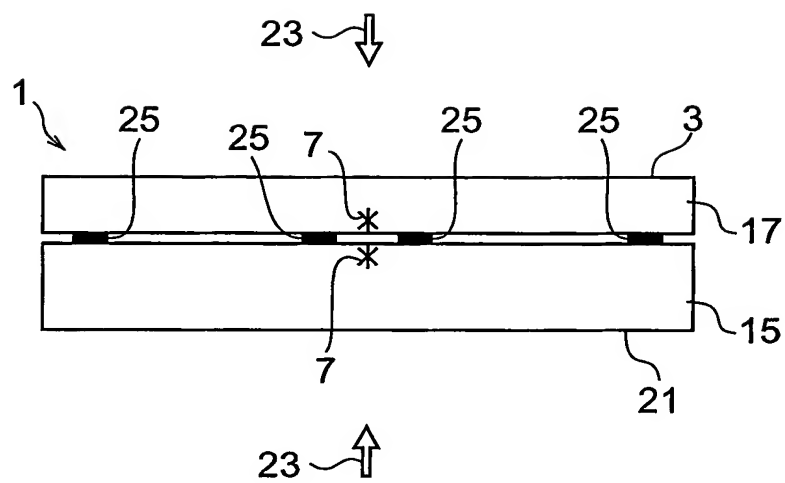


図21B

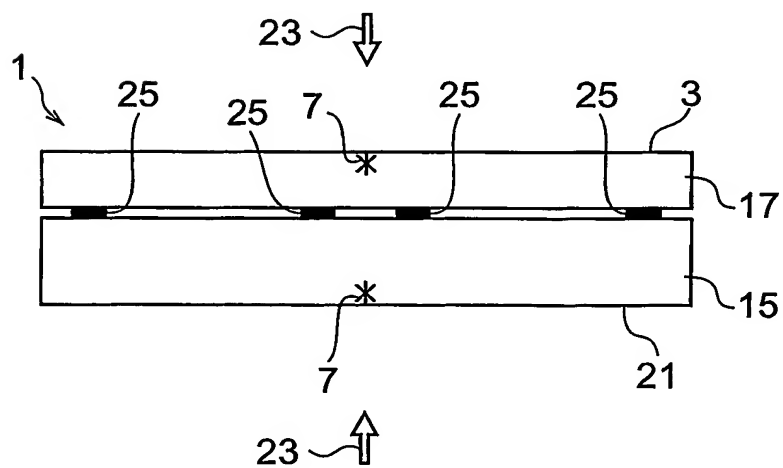
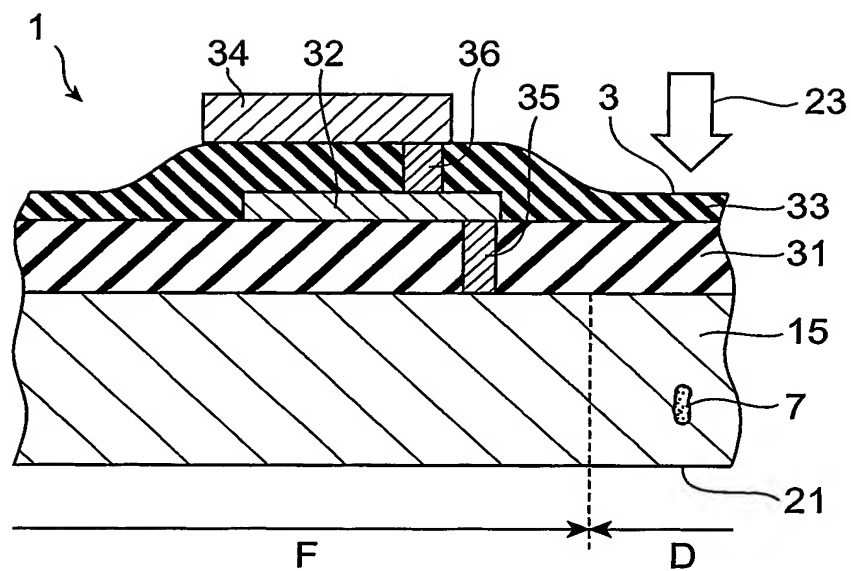




図22



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/02945

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> B23K26/38, B28D5/00, H01L21/301

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> B23K26/38, B28D5/00, H01L21/301

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 4-111800 A (Nippon Sekiei Glass Co., Ltd.), 13 April, 1992 (13.04.92), Page 2, upper right column, line 16 to lower right column, line 7; Fig. 1 (Family: none)	1-10
A	JP 10-305420 A (Nippon Glass Co., Ltd.), 17 November, 1998 (17.11.98), Claims; detailed explanation of the invention; Par. Nos. [0021] to [0024]; Figs. 1, 3 (Family: none)	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
13 June, 2003 (13.06.03)

Date of mailing of the international search report  
01 July, 2003 (01.07.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/02945

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5211805 A (Rangaswamy, SRINIVASAN), 18 May, 1993 (18.05.93), Column 1, lines 6 to 10, 42 to 45; column 4, lines 60 to 68; column 8, line 59 to column 9, line 2; Figs. 1 to 4 & JP 6-198475 A	1-10
A	Katsuyoshi MIDORIKAWA, "Femto-byo Laser no Genjo to Kako Oyo", Dai 45 Kai Laser Netsukako Kenkyukai Ronbunshu, 1998 December, ISBN 4-947684-21-6, 3.4 Local Machining by Nonlinear Effect, 5.4 Modifying Transparent Material	1-10
E, A	WO 02/22301 A1 (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 21 March, 2002 (21.03.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
A	Tomokazu SANO et al., "Pico-byo Pulse Laser ni yoru Silicon no Kako Tokusei Hyoka - Tan-Pulse- Tanhacho Laser ni yoru Denshi Zairyo no Seimitsu Bisai Kako (Dai 1 ho)-", Japan Welding Society Zenkoku Taikai Koen Gaiyo, 13 March, 2000 (13.03. 00), 66th series, pages 72 to 73	1-10
A	Kiyotaka MIURA, Kazuyuki HIRAO, "Femto-byo Laser Shosha ni yoru Glass Naibu eno Hikari Yuki Kozo Keisei", Dai 42 Kai Laser Netsukako Kenkyukai Ronbunshu, 1997 November, ISBN:4-947684-15-1, page 107, line 4 to page 109, line 5	1-10
A	Ken'ichi HAYASHI, "Kotai Laser Kochoha ni yoru Glass Kiban no Naibu Marking", Dai 45 Kai Laser Netsukako Kenkyukai Ronbunshu, 1998 October, ISBN:4-947684-21-6	1-10

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>1</sup> B23K26/38, B28D5/00, H01L21/301

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>1</sup> B23K26/38, B28D5/00, H01L21/301

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 4-111800 A(日本石英硝子株式会社)1992. 04. 13, 第2頁右上欄第16行-第2頁右下欄第7行, 第1図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 10-305420 A(日本硝子株式会社)1998. 11. 17, 特許請求の範囲, 発明の詳細な説明【0021】-【0024】, 第1, 3図 (ファミリーなし)	1-10
A	US 5211805 A(Rangaswamy SRINIVASAN)1993. 05. 18, 第1欄第6-10行, 第1欄第42-45行, 第4欄第60-68行, 第8欄第59行-第9欄第2行, 第1-4図 & JP 6-198475 A	1-10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

13. 06. 03

国際調査報告の発送日

01.07.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

加藤 昌人

3P

9257

電話番号 03-3581-1101 内線 3362

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	緑川 克美, フェムト秒レーザの現状と加工応用, 第45回レーザ熱加工研究会論文集, 1998. 12, ISBN 4-947684-21-6, 3. 4非線形効果による局所的加工, 5. 4透明材料の改質	1-10
E, A	WO 02/22301 A1(浜松ホトニクス)2002. 03. 21, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-10
A	佐野 智一 外3名, ピコ秒パルスレーザによるシリコンの加工特性評価—短パルス・短波長レーザによる電子材料の精密微細加工(第1報)—, 溶接学会全国大会講演概要, 2000. 03. 13, 第66集, P72-73	1-10
A	三浦 清貴, 平尾 一之, フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成, 第42回レーザ熱加工研究会論文集, 1997. 11, ISBN:4-947684-15-1, 第107頁第4行—第109頁第5行	1-10
A	林 健一, 固体レーザー高調波によるガラス基板の内部マーキング, 第45回レーザ熱加工研究会論文集, 1998. 10, ISBN:4-947684-21-6	1-10